ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES OF AGRO - ENGINEERING SYSTEMS



УДК 631.3:531:517:9777 10.23947/1992-5980-2017-17-2-131-135

Влияние продольно-угловых колебаний молотилки зерноуборочного комбайна на плавность хода жатки*

Л. М. Грошев[1], С. А. Партко[2], А. Н. Сиротенко[3]**

[1, 2, 3] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Effect of longitudinal-angular oscillations of the harvester-thresher separator on smooth motion of the reaper ***

L. M. Groshev[1], S. A. Partko[2], A. N. Sirotenko[3]**

[1, 2, 3] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Рассмотрено влияние вибрационных низкочастотных колебаний жатки на потери урожая отечественных зерноуборочных комбайнов. При проведении исследования учитывались различные скорости движения машины, различные массово-геометрические и упругодиссипативные характеристики агрегатов. Определены геометрические параметры подвесной системы жатвенной части комбайна, обеспечивающие плавность хода и снижение потерь урожая за жаткой. С учетом массово-геометрических и упругодиссипативных характеристик определены амплитудные и частотные спектры колебаний отечественных машин агропромышленного комплекса. Предложена математическая зависимость вибраций жатки от условий работы комбайна.

Материалы и методы. Использовано математическое моделирование колебаний узлов с учетом продольно-вертикальных колебаний корпуса молотилки и вертикальных колебаний жатки. Решено уравнение в частотной области.

Результаты исследования. Составлена двухмассовая колебательная модель и получены соответствующие дифференциальные уравнения движения. Представлены графики зависимостей среднеквадратических нагрузок на башмаках при различных параметрах подвески жатки. Установлены геометрические параметры системы подвески жатвенной части комбайна, обеспечивающие плавность хода и снижение потерь урожая за жаткой. Выявлена взаимосвязь между изменением числа отрывов башмаков, линейной скоростью машины и параметрами подвески жатки.

Обсуждение и заключения. Проведенные научные изыскания позволяют сделать следующие выводы: частотные характеристики реакции от башмаков обусловлены параметрами подвески жатки и молотилки; система подвески жатки в отечественных зерноуборочных комбайнах не обеспечивает безотрывную работу жатки в режиме копирования микрорельефа почвы, что приводит к возникновению дополнительных колебаний корпуса и потере урожая; интенсивность паразитных колебаний можно уменьшить путем увеличения вылета жатвенной части от корпуса молотилки и уменьшением жесткости подвески жатки.

Introduction. The effect of the low-frequency oscillations of the reaper on crop losses of the domestic combine harvesters is considered. In the study, various speeds of the machine, various mass-geometric and elastic-dissipative characteristics of the units are taken into account. The geometrics of the overhead system of the combine reaping section which ensures smooth running and reduces crop losses for the reaper is determined. Taking into account the mass-geometric and elastic-dissipative characteristics, the amplitude and frequency spectra of the oscillations of the domestic machines of the agroindustrial complex are determined. The mathematical dependence of the reaper oscillations on the combine operation conditions is proposed.

Materials and Methods. The mathematical modeling of units vibrations is used with account for the longitudinal-vertical oscillations of the separator body and the heaving of the reaper. The equation in the frequency domain is solved.

Research Results. A two-mass oscillatory model is constructed, and the corresponding differential equations of motion are obtained. The graphs of dependences of RMS loads on shoes with different parameters of the suspension are presented. The geometrics of the suspension system of the harvester reaping part ensuring smooth running and lower crop losses for the reaper, is established. The relationship between the change in the number of detachments of the shoes, the linear speed of the machine and the parameters of the reaper suspension is educed.

Discussion and Conclusions. The conducted investigation allows drawing the following conclusions. Frequency characteristics of the shoes response are caused by parameters of the reaper and separator suspensions. The reaper suspension system in the domestic grain harvesters does not ensure the continuous operation of the reaper in the copy mode of the soil microrelief which leads to generating additional oscillations of the body and crop loss. The parasitic vibrations strength can be reduced by increasing the extension of the reaping part of the separator body and reducing the rigidity of the reaper suspension.

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E-mail: kaf-qm@dstu.edu.ru, parlana@spark-mail.ru, andsirotenko@yandex.ru

***The research is done within the frame of independent R&D.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, потери урожая, вертикальные колебания, жатка, амплитудно-частотная характеристика, спектральная плотность.

Keywords: combine harvester, crop losses, vertical oscillations, reaper, amplitude-frequency response, spectral density.

Введение. Для снижения потерь урожая можно совершенствовать не только молотильно-сепарирующие агрегаты [1], но и характеристики ходовой части комбайна. В отличие от колесных сельскохозяйственных тракторов, автомобилей и других мобильных машин АПК, ходовая система зерноуборочного комбайна на рабочих режимах должна обеспечивать копирование макро- и микрорельефа поверхности поля во избежание потерь урожая. Поэтому в ходовой системе практически заблокированы упругие элементы, обеспечивающие плавность хода машины.

На транспортных режимах работы плавность хода комбайна определяется упругодиссипативными и массово-геометрическими параметрами корпуса на пневматических шинах, а также параметрами привода ходовой системы.

При транспортировке зерноуборочного комбайна вертикальные колебания корпуса и крутильные колебания привода ходовой системы склонны к синхронизации, которая приводит к возникновению дополнительных вертикальных нагрузок в корпусе и крутящих моментов в приводе. В комбайне отсутствуют специальные амортизаторы, и затухание колебаний происходит только в упругих шинах.

Поэтому при проектировании и расчете агрегатов комбайна необходимо производить спектральный анализ ходовой части и определять частотные параметры, исключающие синхронизацию колебаний, влияющую как на ресурс агрегатов, так и на потери урожая.

Основная часть. Целью представленного исследования является определение геометрических параметров подвесной системы жатвенной части комбайна, обеспечивающих плавность хода и снижение потерь урожая за жаткой.

Для достижения поставленной цели необходимо определить амплитудные и частотные спектры колебаний отечественных машин агропромышленного комплекса с учетом их массово-геометрических и упругодиссипативных характеристик и предложить математическую зависимость вибраций жатки от условий работы комбайна.

В рамках данного исследования рассмотрены продольно-вертикальные колебания корпуса молотилки и вертикальные колебания жатки. При составлении дифференциальных уравнений колебаний узлов использовались уравнения Лагранжа.

На рис. 1 представлена двухмассовая модель, описывающая вертикальные колебания молотилки массой m_1 и жатки массой m_2 при движении комбайна по неровностям поля.

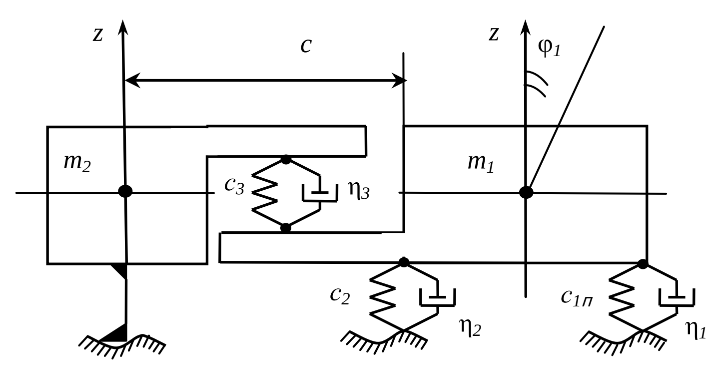


Рис. 1. Двухмассовая модель вертикальных колебаний молотилки и жатки при движении комбайна по неровностям поля

Fig. 1. Two-mass model of vertical oscillations of separator and reaper during combine movement over field unevenness

Модель представляет молотилку, жесткость шин колес которой — c_1 и c_2, а также жатку (жесткость системы навески — c_3). Коэффициенты затухания колебаний в системе — η_1, η_2, и η_3. Дифференциальные уравнения колебаний в операторной форме записи с изображений переменных по Лапласу известны по [2]. В результате их решения в частотной области получены выражения модулей передаточных функций для реакций жатки от башмаков [3]. При переходе от передаточных функций к амплитудно-частотной характеристике произведена замена $p = i\omega$.

Исследования выражений для частотных характеристик позволили установить, что частотные характеристики реакции от башмаков определяются параметрами подвески жатки и молотилки. Спектральная плотность нагрузок на башмаки $S_R(\omega)$ определялась по известной формуле статической динамики [4]:

$$S_R(\omega) = \left|W_R(i\omega)\right|^2 \cdot S_h(\omega), \qquad (1)$$

где $\left|W_R(i\omega)\right|$ — соответствующий модуль передаточной функции.

В ходе исследований профилей полей на опытных полигонах [2, 5] получено выражение для спектральных плотностей воздействий $S_h(\omega)$:

$$S_h(\omega) = R_0 \frac{2\alpha\left(\alpha^2+\beta^2+\omega^2\right)}{\omega^4+2\left(\alpha^2+\beta^2\right)\omega^2+\left(\alpha^2+\beta^2\right)^2}, \quad (2)$$

где α, β — коэффициенты; R_0 — дисперсия неровностей поверхности поля.

Дисперсия реакции на башмаках определялась как:

$$D_R = \frac{1}{\pi}\int_0^{\omega_{\max}} S_h(\omega)\,d\omega. \quad (3)$$

Расчеты по выражениям (2) и (3) позволили построить графики зависимостей среднеквадратических нагрузок σ_R на башмаках при различных параметрах подвески жатки. Эти графики представлены на рис. 2.

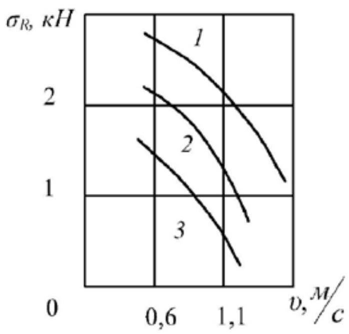


Рис. 2. Зависимость среднеквадратических нагрузок на башмаки от скорости агрегата: 1 — *c* = 0,8 м; 2 — *c* = 1 м; 3 — *c* = 1,2 м

Fig. 2. Dependence of RMS loads on shoes on the unit speed: 1 — *c* = 0.8 m; 2 — *c* = 1 m; 3 — *c* = 1.2 m

Затем были рассчитаны параметры отрыва башмаков от поверхности поля. Для этого определялось среднее количество превышения (в секунду) длительности случайного процесса изменения нагрузок при статической нагрузке и ниже нее. Расчеты среднего количества минимумов нагрузки в единицу времени проводились по формулам Райса:

$$N_0 = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{\dot{\sigma}_R}{\sigma_R}\cdot e^{-\frac{R_{\text{CT}}^2}{2\sigma_R^2}}, \quad (4)$$

где $\dot{\sigma}_R$ — среднее изменение скорости нагрузки; R_{CT} — статическая нагрузка на башмаках.

На рис. 3 представлены графики изменения числа отрывов башмаков N_0 при различных линейных скоростях машины ν и параметрах подвески жатки.

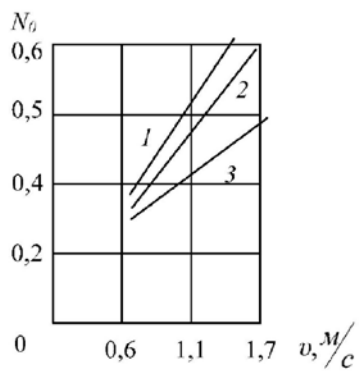


Рис. 3. Число отрывов башмаков: 1 — *c* = 0,8 м; 2 — *c* = 1 м; 3 — *c* = 1,2 м

Fig. 3. Number of detachments of shoes: 1 — *c* = 0.8 m; 2 — *c* = 1 m; 3 — *c* = 1.2 m

Проведенные исследования [6, 7] позволили установить, что система подвески жатки для отечественных зерноуборочных комбайнов не обеспечивает безотрывную работу жатки в режиме копирования микрорельефа почвы, что приводит к возникновению дополнительных колебаний корпуса и потере урожая.

Интенсивность таких паразитных колебаний можно сократить. Для этого необходимо усовершенствовать конструкцию подвески, а именно: увеличить вылет жатвенной части от корпуса молотилки (увеличение размера *c*, см. рис. 1) и уменьшить жесткость c_3 подвески жатки.

Выводы.

1. Частотные характеристики реакции от башмаков зависят от параметров подвески жатки и молотилки.

2. Система подвески жатки в отечественных зерноуборочных комбайнах не обеспечивает безотрывную работу жатки в режиме копирования микрорельефа почвы, что приводит к возникновению дополнительных колебаний корпуса и потере урожая.

3. Интенсивность паразитных колебаний можно сократить, увеличив вылет жатвенной части от корпуса молотилки и уменьшив жесткость подвески жатки.

4. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для синтеза подвески жатвенной части зерноуборочного комбайна с целью снижения потерь урожая.

Библиографический список

1. Антибас, И.-Р. Исследование процесса обмолота тангенциально-аксиальным сепарирующим устройством в зависимости от распределения зерновой массы по зонам / И.-Р. Антибас, А. Г. Дьяченко, Т. П. Савостина // Научное обозрение. — 2016. — № 23. — С. 87–91.

2. Жаров, В. П. Динамика двухмассовой колебательной системы зерноуборочного комбайна (жатка-молотилка) / В. П. Жаров, В. А. Фокин // Исследование рабочих органов сельскохозяйственных машин. Вып. II. — Ростов-на-Дону : Изд-во РИСХМ, 1973. — 45 с.

3. Грошев, Л. М. Применение методов математического моделирования при исследовании динамики корпусов мобильных сельскохозяйственных машин / Л. М. Грошев, С. А. Партко, А. Н. Сиротенко // Научное обозрение. — 2016. — № 23. — С. 92–95.

4. Свешников, А. А. Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свешников. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 464 с.

5. Лурье, А. В. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А. В. Лурье. — Москва : Колос, 1981. — 382 с.

6. Сравнение параметров разгона мобильной машины с механическим и гидромеханическим приводом / Л. М. Грошев [и др.] // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : мат-лы 6-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 16-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2013». — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2013. — С. 74–76.

7. Грошев, Л. М. Повышение работоспособности бортового редуктора комбайна серии «Дон» / Л. М. Грошев, С. А. Партко, А. Г. Дьяченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : мат-лы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2014». — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2014. — С. 89–90.

References

1. Antipas, I.-R., Dyachenko, A.G., Savostina, T.P. Issledovanie protsessa obmolota tangentsial'no-aksial'nym separiruyushchim ustroystvom v zavisimosti ot raspredeleniya zernovoy massy po zonam. [Research of the threshing process with tangential-axial breaking unit in dependence of grain mass zone division.] Science Review, 2016, no. 23, pp. 87–91(in Russian).

2. Zharov, V.P., Fokin, V.A. Dinamika dvukhmassovoy kolebatel'noy sistemy zernouborochnogo kombayna (zhatka-molotilka). [Dynamics of two-mass oscillatory system of combine harvester (reaper-separator).] Issledovanie rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin. Vyp. II. [Study on agricultural machine tools. Iss. II.] Rostov-on-Don: Izd-vo RISKhM, 1973, 45 p. (in Russian).

3. Groshev, L.M., Partko, S.A., Sirotenko, A.N. Primenenie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri issledovanii dinamiki korpusov mobil'nykh sel'skokhozyaystvennykh mashin. [Application of mathematical simulation methods in the study of mobile agricultural machines frames dynamics.] Science Review, 2016, no. 23, pp. 92–95 (in Russian).

4. Sveshnikov, A.A. Prikladnye metody teorii sluchaynykh funktsiy. [Applied approaches to the theory of random functions.] 3rd reimpression. St. Petersburg: Lan, 2011, 464 p. (in Russian).

5. Lurie, A.V. Statisticheskaya dinamika sel'skokhozyaystvennykh agregatov. [Statistical dynamics of agricultural aggregates.] Moscow: Kolos, 1981, 382 p. (in Russian).

6. Groshev, L.M., et al. Sravnenie parametrov razgona mobil'noy mashiny s mekhanicheskim i gidromekhanicheskim privodom. [Comparison of acceleration parameters of mobile machine with mechanical and hydromechanical drive.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: mat-ly 6-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 16-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2013». [State and prospects of agricultural engineering development: Proc. 6th Int. Sci.-Pract. Conf. within framework of 16th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2013”.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2013, pp. 74–76 (in Russian).

7. Groshev, L.M., Partko, S.A., Dyachenko, A.G. Povyshenie rabotosposobnosti bortovogo reduktora kombayna serii «Don». [Performance improvement of combine onboard reducer of “Don” line.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: mat-ly 7-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 17-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2014». [State and prospects of agricultural engineering development: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf. within framework of 17th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2014”.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2014, pp. 89–90 (in Russian).

Поступила в редакцию 22.03.2017
Сдана в редакцию 29.03.2017
Запланирована в номер 03.04.2017

Received 22.03.2017
Submitted 29.03.2017
Scheduled in the issue 03.04.2017

Об авторах:

Грошев Леонид Матвеевич,
профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), Доктор технических наук, профессор,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9956-1032
kaf-qm@dstu.edu.ru

Партко Светлана Анатольевна,
старший преподаватель кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук,
ORCID : http://orcid.org/0000-0002-8568-0716
parlana@spark-mail.ru

Сиротенко Андрей Николаевич,
доцент кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук,
ORCID : http://orcid.org/0000-0001-9956-1032
andsirotenko@yandex.ru

Authors:

Groshev, Leonid M.,
professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Dr.Sci. (Eng.), professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9956-1032
kaf-qm@dstu.edu.ru

Partko, Svetlana A.,
senior lecturer of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand. Sci. (Eng.),
ORCID : http://orcid.org/0000-0002-8568-0716
parlana@spark-mail.ru

Sirotenko, Andrey N.,
associate professor of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand. Sci. (Eng.),
ORCID : http://orcid.org/0000-0001-9956-1032
andsirotenko@yandex.ru